

中文摘要

三維雷射掃瞄儀是一種能快速獲取大量高精度三維點位座標的新型測量儀器，適用於規則的、規範的及標準化的目標，同時亦適用於不宜移動的、危險的、非接觸性的、不規則的及非線性的複雜目標實體或實景進行資料獲取、建模與立體貼圖。近年來由於其測距效能的增加與定位精度的提升，使可應用的領域增廣許多，不論是在古蹟維護、工程測量、變形監測以及建築規劃等作業，都可使用三維雷射掃瞄技術以達到更好的精度及效能。

在工程方面的應用上，不同測站點雲之間的疊合常利用反射標作為連結點，而反射標的定位能力將大大地影響疊合的成果。本研究分析重複觀測對反射標定位精度的影響，並模擬反射標在不同的掃瞄角度與遮蔽程度時，得到定位成果的精度。

本研究另一個重點在於探討掃瞄距離對三維雷射掃瞄儀定位精度的影響，利用建置一個中長距離的戶外檢定場，對三維雷射掃瞄儀進行檢定工作，分析不同的掃瞄距離下定位的精確度與精密度；最後並以七參數法來改正儀器本身的系統誤差，經實驗結果計算後能提升掃瞄精度。

Abstract

3D Laser Scanner is a kind of newly invented measuring instrument which can immediately obtain vast of 3D coordinates with high accuracy. It is suitable for not only the regular and standardized objects but also for the immobile, dangerous, irregular, complex physical objects. With the increase of its efficiency of distance measuring and the improvement of the positioning accuracy, the fields for the scanner to apply have been broadened. Cases like the maintenance of cultural assets, engineer surveying, deformation monitoring and architecture planning can be accomplished with higher accuracy and better efficiency by the technology of 3D laser scanning.

As to the application to engineering, the merger of point clouds from different stations often uses targets as linking points, and the positioning ability of the targets would greatly influence the results of merger. This research analyses the influences on target positioning accuracy caused by repeated observations and by targets with different scanning angles and different degree of shelter.

The other focus of this research is the positioning accuracy of the 3D Laser Scanner influenced by the distance of scanning. This research calibrates the accuracy and the precision of positioning under different scanning distances by setting up an outdoor calibrate field. Finally, the research rectifies the systematic errors of the instrument itself by using 7-parameters transformation, and the scanning accuracy and precision can indeed both be increased after the rectification.

致謝

在交大的這兩年裡，承蒙恩師陳春盛教授在課業上的悉心指導與生活上的鼓勵提攜，讓我除了學到許多寶貴的知識之外，還學會了許多為人處事的道理。而本組的史天元教授、黃金維教授以及李振燾教授在課業上的指導亦令我受益匪淺，衷心感謝各位老師的諄諄教誨，在此致上最深的感謝。此外，對於本論文得以完成，更要感謝三位口試委員—清雲科技大學楊潔豪校長、中興大學高書屏教授以及工研院量測中心李瓊武博士的不吝指正與建議，提供了我許多寶貴的意見，使本論文得以更臻完備，謹此致謝。

在兩年的研究所生涯中，衷心感謝思源學長、大綱學長、俊寰學長、宗江學長和成大的志凱學長在研究上的協助與建議，並在儀器的提供和技術上給予我最大的幫助，以及進金學長、弘機學長、宇伸學長、廷融學長、勢芳學長、建廷學長、美利學姊、阿福學長、福利學長、小支學長、亘昶學長、大雄學長、宜珊學姊、BOSS學長、朗哲學長、勇者學長等各位學長姊的經驗分享與關心支持，都是對我最大的鼓勵。而同窗的阿達、印淞、貓哥、鳥仔、祐廷、佩珊、世青與峻嘉，成大測量的各位好同學們，以及碩一的元俊、家桂、建評、子榜等學弟妹們，因為有你們，使我的研究所生活更多采多姿；你們的參與，讓我的求學生涯充滿了樂趣與驚喜。

另外感謝力弘科技的小洪和良居以及清雲的學弟國鋒和忠彥的熱情支援，有你們的參與和協助，讓我在研究的過程中更加順利；並感謝漢昇、小韻和雅君以及其他默默關心我的朋友們，你們的鼓勵與各領域上的協助，都讓我在無形中多了許多的動力。

最後感謝我的女友珍瑋和我可愛的家人們，由於你們的體諒與支持，我才能走到這裡；你們都是我最重視的人，你們對我的鼓勵也是我最大的動力！僅將這篇論文獻給你們，希望你們能和我一起分享這份喜悅。

目錄

中文摘要.....	I
Abstract.....	II
致謝.....	III
目錄.....	IV
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VII
第一章 前言.....	1
1-1 研究動機與目的.....	1
1-2 研究方法.....	3
1-3 論文架構.....	4
第二章 三維雷射掃瞄系統.....	5
2-1 三維雷射掃瞄儀構造.....	5
2-2 雷射測距原理.....	6
2-2-1 脈衝式與連續波式.....	6
2-2-2 時間差量測法與三角幾何法.....	9
2-3 三維雷射掃瞄定位原理.....	12
2-4 三維雷射掃瞄儀類型比較.....	15
第三章 反射標定位模擬測試.....	18
3-1 重複掃瞄反射標的次數之影響.....	19
3-1-1 實驗設計.....	20
3-1-2 成果整理與分析.....	21
3-2 旋轉不同角度反射標之影響分析.....	28
3-2-1 實驗設計.....	28
3-2-2 成果整理與分析.....	29
3-3 反射標的完整度之影響分析.....	37
3-3-1 實驗設計.....	37
3-3-2 成果整理與分析.....	38
第四章 三維雷射掃瞄儀距離檢定.....	47
4-1 國內外檢定場與檢定方法介紹.....	47
4-2 距離檢定場實驗.....	52
4-2-1 三維雷射掃瞄儀距離檢定步驟.....	52
4-2-2 實驗成果與分析.....	58
4-3 系統誤差改正.....	68
4-3-1 系統誤差改正方法.....	68
4-3-2 使用掃瞄資料進行系統誤差改正.....	69

參考文獻..... 74



表目錄

表 2-1 長距離雷射掃瞄儀廠商與產品型號表.....	15
表 2-2 常見雷射掃瞄儀規格比較表（修改自曾及史，2002）.....	16
表 3-1 重複掃瞄 30 次分別得到的 target 中心點座標表(公尺).....	25
表 3-2 不同重複掃瞄次數得到的座標與距離的中誤差表(公尺).....	26
表 3-3 掃瞄得到的中心座標、距離與中誤差表.....	32
表 3-4 不同角度掃瞄得到的平均座標和距離與 0° 時的差值表.....	34
表 3-5 不同遮蔽程度掃瞄得到的三維座標和距離值以及標準偏差表.....	40
表 3-6 不同遮蔽程度掃瞄成果與無遮蔽時成果的差值表.....	42
表 3-7 代表符號示意表.....	44
表 4-1 反射標編號示意表.....	59
表 4-2 掃瞄距離 10m 時的 STD 表.....	60
表 4-3 掃瞄距離 25m 時的 STD 表.....	60
表 4-4 掃瞄距離 50m 時的 STD 表.....	60
表 4-5 掃瞄距離 95m 時的 STD 表.....	60
表 4-6 掃瞄距離 100m 時的 STD 表.....	61
表 4-7 掃瞄距離 150m 時的 STD 表.....	61
表 4-8 掃瞄距離 100m 時的 STD 表.....	61
表 4-9 各測站平均的 STD 整理表.....	61
表 4-10 各測站轉換後的六個觀測座標與已知座標的誤差值表.....	65
表 4-11 各測站成果經六參數轉換後的 RMS 值表(單位：mm).....	69
表 4-12 各測站轉換的尺度參數表.....	70
表 4-13 各測站系統誤差改正的計算成果表(單位：mm).....	70

圖目錄

圖 2-1 三維雷射掃瞄儀的主要構造圖.....	6
圖 2-2 脈衝式雷射測距和連續波式雷射測距的光波形式圖.....	7
圖 2-3 時間差量測法圖.....	9
圖 2-4 單相機三角幾何法圖.....	10
圖 2-5 雙相機三角幾何法圖.....	11
圖 2-6 以三維雷射掃瞄儀為原點的儀器座標系圖.....	12
圖 2-7 三維雷射掃瞄定位圖.....	13
圖 2-8 Mensi GS200 三維雷射掃瞄儀圖.....	17
圖 3-1 Mensi 原廠的 target 尺寸圖.....	19
圖 3-2 實驗場-工程二館二樓走廊圖.....	20
圖 3-3 第一次掃瞄 target 得到的點雲資料以及判定的中心示意圖.....	21
圖 3-4 分別重複掃瞄 5 次得到的 target 中心位置圖.....	22
圖 3-5 分別重複掃瞄 10 次得到的 target 中心位置圖.....	22
圖 3-6 分別重複掃瞄 15 次得到的 target 中心位置圖.....	23
圖 3-7 分別重複掃瞄 20 次得到的 target 中心位置圖.....	23
圖 3-8 分別重複掃瞄 25 次得到的 target 中心位置圖.....	24
圖 3-9 分別重複掃瞄 30 次得到的 target 中心位置圖.....	24
圖 3-10 重複掃瞄的次數與 σ 值的關係圖.....	26
圖 3-11 去除 z 方向錯誤之後重複掃瞄次數與 STD 的關係圖.....	27
圖 3-12 檢驗不同反射標角度使用的道具圖.....	29
圖 3-13 旋轉角度 0° 圖.....	30
圖 3-14 旋轉角度 10° 圖.....	30
圖 3-15 旋轉角度 20° 圖.....	30

圖 3-16 旋轉角度 30° 圖.....	30
圖 3-17 旋轉角度 40° 圖.....	30
圖 3-18 旋轉角度 50° 圖.....	30
圖 3-19 旋轉角度 60° 圖.....	31
圖 3-12 旋轉角度 70° 圖.....	31
圖 3-21 旋轉角度 80° 圖.....	31
圖 3-22 全部點雲疊合圖.....	31
圖 3-23 傾斜角度和 STD 的關係圖.....	35
圖 3-24 傾斜角度與差值的關係圖.....	36
圖 3-25 遮蔽程度實驗所使用圓形紙片的編號示意圖.....	38
圖 3-26 無遮蔽時的點雲成果圖.....	39
圖 3-27 遮蔽 1/8 時的點雲成果圖.....	39
圖 3-28 遮蔽 2/8 時的點雲成果圖.....	39
圖 3-29 遮蔽 3/8 時的點雲成果圖.....	39
圖 3-30 遮蔽 4/8 時的點雲成果圖.....	39
圖 3-31 遮蔽 5/8 時的點雲成果圖.....	39
圖 3-32 所有點雲套合成果圖.....	40
圖 3-33 遮蔽程度與 STD 的關係圖.....	43
圖 3-34 遮蔽程度與差值的關係圖.....	43
圖 3-35 XY 方向點位分佈圖.....	45
圖 3-36 XY 方向點位分佈圖.....	45
圖 3-37 XZ 方向點位分佈圖.....	46
圖 4-1 檢定流程圖.....	53
圖 4-2 反射標排列的照片.....	54
圖 4-3 檢定場的照片.....	55
圖 4-4 實際檢定掃瞄距離與 STD 關係圖.....	62

圖 4-5 原廠檢定掃瞄距離與 STD 關係圖.....	63
圖 4-6 實際檢定與原廠檢定成果比較圖.....	64
圖 4-7 不同測站得到的反射標座標誤差值圖.....	66

